1. Definition Härte

- Härte ist der Widerstand, den ein Werstoff beim Eindringen eines Prüfkörpers entgegensetzt
- Als erste Begriffsbestimmung gilt die um 1900 nach Mortens: "Härte ist der Widerstand, den ein Körper dem Eindringen eines härteren Körpers entgegensetzt."
- für Größe des Eindringungswiderstandes sind Gestalt und Größe des verwendeten Eindringlörpers maßgendend
- der unter entstehenden Eindruck aufgebaute Spannungszustand ist zumindest bei metallischen Werkstoffen inhomogen (ungleichartig) mehrachsig und mit ungleichmässigem Deformationszustand verbunden
- durch verschiedenförmig oder kantig gestalteten Eindringungskörper ist das Eindringen in bestimmte Prüfmaterialen mehr vom Trenn- als von Deformationsvorgängen (vergleichsweise bei stumpfen (Kugeln) Eindringungskörpern) begeleitet
- bei fast allen Härteprüfverfahren erfolgt das Quantifizieren der Härte

$$Härtewert = \frac{Prüfkraft}{Eindruckgrösse}$$

nach der allg. Beziehung:

(wobei die Eindruckgrösse unterschiedlich definiert bzw. ermittelt wird)

- Ordnungskriterienes gibt:
  1. Härteprüfverfahren (HPV) mit statischer Krafteinwirkung
  2. HPV mit dynamischer Krafteinwirkung

- alle Verfahren richten sich nach der Eindringungsgeschwindigkeit
  1. sehr langsame (quasistatisch)
  2. sehr schnelle, stoß- oder schlagartige
- innerhalb der statischen HPV unterscheidet man zw. Makrohärte, Kleinlasthärte, Mikrohärte und Ultramikrohärte und/oder Prüfkraft
- die Prüfergebnisse aus den dynamischen HPV und den Sonderverfahren werden dem Bereich der Makrohärte zugeordnet

2. Härteprüfverfahren

2.1. Verfahren mit statischer Krafteinwirkung

(es gibt als Härteprüfverfahren BRINELL, VICKERS, ROCKWELL, KNOOP)

- ein in seiner geometrischen Form genau festgelegter Eindringungskörper aus Stahl, Hartmetall oder Diamant wird senkrecht in die Oberfläche des auf fester Unterlage liegenden Prüfstückes eingedrückt
- die notwendige Prüfkraft F wird stoßfrei und sehr langsam innerhalb einer vorgegebenen Zeitspanne aufgebracht
- nach bestimmter Einwirkdauer der vollen Prüfkraft, die bei metallischen und nichtmetallischen anorganischen Werkstoffen einige Sek. beträgt, wird der Eindringungskörper entlastet, zurückgezogen und anschließend der entstandene Härteeindruck vermessen
- anfallende Längenmeßwerte dienen der Berechnung der Eindrucksgröße, durch welche die Prüfkraft zu dividieren ist, um den Härtewert zu ermitteln
- die gebräuchlichsten HPV verwenden als Maß für Eindrucksgröße entweder Eindrucksoberfläche selbst (Brinell- und Vickersverfahren) oder deren ebene Projektion (Knoopverfahren)
- Berechnung dieser Bezugsflächen erfolgt unter Zugrundelegung der Eindrinkörpergeometrie mit Hilfe von am Eindruck gemessenen Durchmessern bzw. Diagonalen
- gegenüber idealen Härteeindruck wirft oftmals ein Einzug oder eine Wulst das Problem auf, wie man den Eindruck am zweckmäßigsten ausmißt, um zur "physikalisch" richtigen Fläche und somit Härte zu kommen

2.2. HPV mit dynamischer Krafteinwirkung

- es wirkt ein Eindringungskörper stossartig auf die stets senkrecht zur Stossrichtung ausgerichtete Prüfoberfläche ein
- infolge dieser kinetischen Energie wird der Werkstoff lokal elastisch sowie unelastisch verformt
- mit hinreichend großer kinetischer Energie wird bleibende Verformung des Werkstoffes erzeugt, dies führt zu einem gut vermessbaren Härteeindruck

- Arten:
  a) dynamisch-plastisches Verfahren (ähnlich den statischen HPV)
  b) dynamisch-elastisches Verfahren (z.B. bei gehärtetem Stählen oder Gummi)

- als Eindrinkörper dient durchweg eine Kugel

  a) Fallhärteprüfung:
- Masse schlägt nach freien Fall gemeinsam mit Eindringkörper auf die Prüfstückoberfläche, um Eindruck zu erzeugen

  b) Schlaghärteprüfung
- Schlagwirkung erfolgt durch Hammerschlag
- Masse schlägt auf Kugel auf
- Kugel hinterlässt an Oberfläche des Prüfstücks einen Eindruck

- Beispiele: Baumann-Steinrück-Schlaghärteprüfung (Baumann-Hammer)
  Poldi-Schlaghärteprüfung (Poldihammer)

3.Durchführung

3.1.Begründung des gewählten Verfahrens:

Nach Festlegung für ein Härteprüfverfahren mit statischer Krafteinwirkung (Verfahren mit dynamische Krafteinwirkung besitzen eine geringe Genauigkeit und ihr Haupteinsatzgebiet liegt auf dem Gebiet der Grobsortierung und der Gleichmäßigkeitsprüfung), mußte für ein einzelnes Prüfverfahren entschieden werden.
Die verschiedenen Prüfverfahren unterscheiden sich in der Form und im Werkstoff des Eindringkörpers, in der Größe der aufgebrachten Kraft sowie in der Art der Ermittlung.
Das Kleinlasthärteprüfungen und Mikrohärteprüfungen nicht geeignet sind, um einen allgemeinen Härtewert zu ermitteln, wird die Makrohärteprüfung verwendet.
Prüfungen im Makrobereich, d.h. mit großen Prüfkräften (F> 50 N), führen zu entsprechend großen Eindrücken, die einen für das Gesamtgefüge charakteristischen Makrohärtewert ergeben. Die wesentlichsten Härteprüfverfahren mit statischer Krafteinwirkung im Makrobereich sind Verfahren nach Brinell,Vickers und Rockwell.
Obwohl das Verfahren nach Brinell häufig Anwendung findet, weist es doch einige seinen Einsatzbereich einschränkende Nachteile auf, der Prüfkugelwerkstoff läßt z.B. die Prüfung härterer Werkstoffe nicht zu, so daß Messungen nur bis etwa 650 HB möglich sind.
Bei der Härteprüfung nach Rockwell gibt es wiederum mehrere Prüfverfahren (z.B. HRB, HRC, HRA).
Ein Test mit dem HRB (mit Kugeldurchmesser 1.5875 mm) ergab, daß die zu prüfenden Werkstoffe sehr unterschiedliche Härtewerte besaßen, wobei der Prüfkörper C15 nicht gemessen werden konnte, da er nicht im Härtebereich dieses Verfahrens lag.
Nach diesem Test entschieden wir uns für das Härteprüfverfahren nach Vickers, welches ein großes Spektrum an Härtewerten zuläßt.

3.2. HPV nach Vickers

- ist dem Brinell-Verfahren sehr ähnlich, anstelle Kugel tritt als Eindringkörper eine regelmäßige vierseitige Pyramide mit Flächenwinkel von 136° (entspricht Tangenten an Brinell-Kugel)
- Pyramide wird mit Prüfkraft F senkrecht in des Prüfstück eingedrückt
- verbleibender Eindruck wird nach Rückzug des Eindringkörpers gemessen

- die Pyramidengeometrie ist so gewählt, daß im Vergleich mit Brinell-Verfahren bis zu Härtewerten von 350-400 eine gute Übereinstimmung gegeben ist
- mit Diagonaldurchmesser d wird die HV (Vickeshärte) errechnet:

$$HV = 0{,}102\frac{F}{A} = 0{,}1022\frac{F\sin\left(\frac{136°}{2}\right)}{d^2} \approx 0{,}1819\frac{F}{d^2}$$

HV Vickershärte
F Prüfkraft [N]
A Eindrucksoberfläche [mm²]
d arithmetisches Mittel aus den gemessenen Eindrucksdiagonalen [mm]

- die Eindringtiefe h ist aufgrund der Pyramidengeometrie mit der Eindrucksdiagonale d über die Beziehung h=d/7,0006 verbunden
- die Prüfkraft F wird so gewählt, daß sich die Eindrucksdiagonale d relativ groß gegenüber den Gefügebestandteilen ergibt und so genauer meßbar wird
- um Rückwirkungen der Unterlage auf Härtewert zu vermeiden, soll d höchstens 2/3, die Eindringtiefe h der Eindringköperspitze max. 1/10 der Probedicke betragen
- wird die Härte einer Schicht ermittelt, gilt entsprechendes bzgl. Schichtdicke

- im Ggs. zur Kugel liefert Pyramide als EK unabhängig von F stets geometrisch ähnliche Eindrücke
- mit abnehmender Eindrucksgröße gewinnt Prüfflächenpräparation immer mehr an Bedeutung
- im Makrohärtebereich reicht ein mit geringem Druck und guter Kühlung (Minimierung von Verfestigungs- und Erwärmungseinflüssen) feingeschliffener Oberflächenzustand aus
- insbesondere im Mikrohärtebereich ist eine sorgfältige metallografische Schliffflächenpräparation unverzichtbar (z.B. durch Ätzen des Gefüges)

4.Formeln

$$d = \frac{1}{2}(d_1 + d_2) = \varnothing d$$

(in mm)

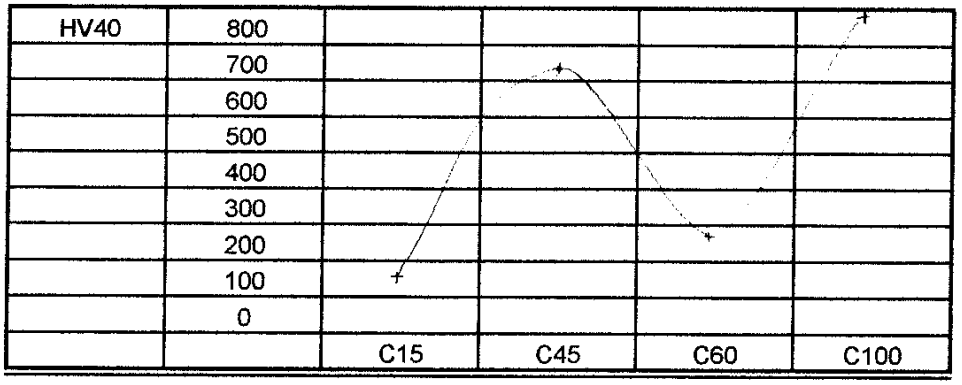
$$A = \frac{d}{2 \cdot \cos 22°} = \frac{d}{2 \cdot \sin\left(\frac{136°}{2}\right)} = \frac{d}{1{,}854}$$

(in mm)

$$HV = \frac{0{,}102 \cdot F}{A} = \frac{0{,}102 \cdot F \cdot 1{,}854}{d} = \frac{0{,}189 \cdot F}{d}$$

5.Ergebnisse

	d_1 (in mm)	d_2 (in mm)	d (in mm)	HV 40
C 15	0,592	0,592	0,592	159
C 45	0,357	0,357	0,357	727
C 60	0,586	0,5	0,543	270
C 100	0,356	0,361	0,3585	878



6. Diskussion der Meßergebnisse

Grundsätzlich nimmt die Härte von Stählen mit steigendem Kohlenstoffgehalt zu. Das führt man auf die eingelagerten Kohlenstoffatome zurück, welche die Versetzungsbewegung erschweren.
Die in die Gittermatrix des Eisens eingelagerten Fremdatome (Kohlenstoff) erzeugen durch anisotrope tetragonale Verzerrung ihrer Umgebung aufgrund unterschiedlicher Atomradien Normal- sowie Schubspannung. Stufenversetzungen werden von Normalspannungsfeldern umgeben. Bewegt sich eine Versetzung auf ein Fremdatom zu, beeinflussen sich die beiden Spannungsfelder

gegenseitig, die Weiterbewegung wird also behindert. Die „Reibung" im Gitter wird durch eingelagerte Kohlenstoffatome erhöht, es ist eine erhöhte Schubspannung nötig, um sie zu überwinden.
Die größere Härte unseres Stahls C45 gegenüber C60 läßt auf eine Wärmebehandlung schließen, dem Normalglühen. Bei dieser Art der Härtung von Eisenwerkstoffen wird Stahl auf ca. 30-50°C über die GOS Linie (Eisen-Kohlenstoff-Diagramm) erwärmt und anschließend wieder abgekühlt, der Stahl durchläuft also zweimal die Umwandlung krz-kfz-krz. Dabei werden Gefügeungleichmässigkeiten ausgeglichen, es stellt sich ein feines Korn ein, die Härte wird gesteigert.
Bei der Untersuchung des Stahls C100 trat ein Unterschied der beiden gemessenen Diagonalen von 0,005mm auf. Dieser läßt ebenfalls auf einen wärmebehandelten Stahl schließen. Bei normalgeglühten Stählen mit einem Kohlenstoffgehalt ab etwa 0,1% liegt der Zementit neben dem α-Eisen in Lamellengestalt vor. Die Kristalle haben also eine höhere Anisotropie. Dringt nun die Spitze der Vickerspyramide in den Stahl ein, verformt sich der Werkstoff in Längs- und Querrichtung zu den Lamellen unterschiedlich stark.

7.Fehlerbetrachtung

- mögliche Fehlerquellen:
  - subjektive Fehler (ungenaues Ablesen der Diagonalen am Prüfgerät)
  - objektive Fehler (Abweichung der benutzten Vickerspyramide von der Prüfnorm durch Verschleiß)

2,5